



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

Offenlegungsschrift
DE 100 05 968 A 1

②① Aktenzeichen: 100 05 968.6
 ②② Anmeldetag: 9. 2. 2000
 ④③ Offenlegungstag: 16. 8. 2001

(51) Int. Cl.⁷:
B 01 D 61/58
 B 01 D 61/42
 C 02 F 1/00

DE 100 05 968 A 1

⑦ Anmelder:
Christ GmbH, 70499 Stuttgart, DE

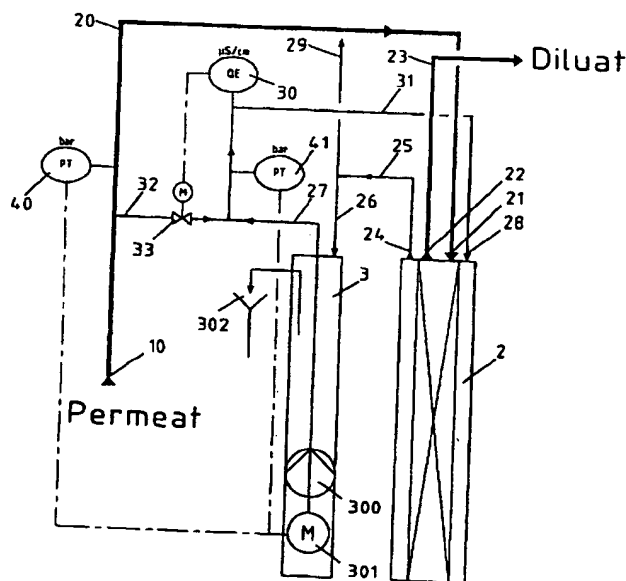
74) Vertreter:
Winter, M., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 71364
Winnenden

(72) Erfinder:
Göttsche, Thomas, 21423 Winsen, DE; Ludwig,
Axel, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Verfahren zum Betrieb einer Elektrodeionisationsanlage

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Elektrodeionisationsanlage, wobei aus einem aufzubereitenden Permeat Ionen in einem elektrischen Feld aus mindestens einer Diluatkammer in mindestens einer Konzentratkammer abgeschieden und in Form eines Konzentrates mittels eines die mindestens eine Konzentratkammer durchströmenden Transportmediums abtransportiert werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß das Konzentrat in einem internen Kreislauf geführt und als Transportmedium wieder in die mindestens eine Konzentratkammer eingespeist wird. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Elektrodeionisationsanlage, bei der ein interner Konzentratkreislauf vorgesehen ist, welcher der Eintrittsöffnung und die Austrittsöffnung der mindestens einen Konzentratkammer miteinander verbindet, so daß das austretende Konzentrat als Transportmittel in die mindestens eine Konzentratkammer zurückgeführt wird.



DE 100 05 968 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Elektrodeionisationsanlage, wobei aus einem aufzubereitenden Permeat Ionen in einem elektrischen Feld aus mindestens einer Diluatkammer in mindestens eine Konzentratkammer abgeschieden und in Form eines Konzentrates mittels eines die mindestens eine Konzentratkammer durchströmenden Transportmediums abtransportiert werden. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Elektrodeionisationsanlage mit mindestens einer Diluatkammer für ein aufzubereitendes Permeat, die aus mindestens einem in zwei ionenselektiven Membranen eingebettete Ionenaustauschermaterial gebildet ist, mindestens einer von zwei ionenselektiven Membranen begrenzten Konzentratkammer mit einer Eintrittsöffnung und einer Austrittsöffnung für ein Transportmedium zum Abtransport der aus dem Permeat abgetrennten Ionen.

Die Elektrodeionisation (EDI) ist eine Kombination aus einem oder mehreren Ionenaustauschern, bspw. einem Mischbett-Ionenaustauscher, und einer Elektrodialyse. Sie dient der Wasseraufbereitung, bspw. der Herstellung von Rein- und Reinstwasser und wird zu diesem Zweck überwiegend einer Enthärtungsanlage und einer Anlage für die Umkehrosmose nachgeschaltet, wobei vor der Enthärtungsanlage noch eine Vorfiltrationsanlage vorgesehen sein kann. In diesen Anlagen wird das aufzubereitende Wasser, das in der Regel bereits Trinkwasserqualität hat, von Calcium- und Magnesium-Salzen befreit sowie in einem ersten Schritt entsalzt. Die anschließende Elektrodeionisation dient der Vollentsalzung. Dabei werden die Ionen mittels des Ionenaustauschers aus dem aufzubereitenden Wasser entfernt und wandern anschließend in einem elektrischen Feld aus dem aufzubereitenden Wasser durch ionenselektive Membranen hindurch, reichern sich auf der anderen Seite der Membran in einer Konzentratkammer an und werden mittels eines Transportmediums abtransportiert. Gleichzeitig wird der Ionenaustauscher im elektrischen Feld regeneriert. Das resultierende aufbereitete Wasser ist praktisch frei von Ionen und weist daher eine äußerst geringe Leitfähigkeit auf.

Dieses Verfahren ist jedoch mit einigen Problemen behaftet. Bedingt durch das elektrische Feld kommt es im Transportmedium leicht zu Ausfällungen, welche die ionenselektiven Membranen belegen bzw. blockieren. Dies geschieht vor allem dann, wenn als Transportmedium der Ablauf aus der Umkehrosmose oder enthärtetes Wasser aus dem Trinkwassernetz, d. h. Weichwasser eingesetzt wird, aus welchem zur Regeneration des Ionenaustauschers Protonen und Hydroxylionen abgezogen werden. Die Ausfällungen, bspw. von Kalk und -Erdalkalisulfaten führen zu irreparablen Schäden an der Elektrodeionisationsanlage, wenn bspw. die Enthärtungsanlage oder die Vorfiltrationsanlage ausfallen. Diese Transportmedien bergen somit ein erhöhtes Betriebsrisiko. Verwendet man hingegen Permeat bspw. aus dem Ablauf der Umkehrosmoseanlage, welches bereits eine sehr niedrige Ionenkonzentration aufweist, muß ein besonders hoher elektrischer Widerstand überwunden werden, um ein elektrisches Feld mit ausreichender Feldstärke zu erzeugen. Ein hoher elektrischer Widerstand bedeutet aber einen hohen Energieeintrag, d. h. es müssen sehr hohe Spannungen angelegt werden, wodurch das Verfahren sehr unwirtschaftlich wird.

Das Transportmedium wird entweder ins Abwassernetz entsorgt, was zu unwirtschaftlich hohen Wasserverlusten von 20% und mehr führt. Stattdessen ist auch eine Rückführung vor die Gesamtanlage, d. h. in der Regel vor die Enthärtungsanlage oder die Vorfiltration, möglich. Nachteilig daran ist, daß Oxidationsstoffe wie Chloridionen, Wasserstoffperoxid, Sauerstoff und Wasserstoff mit rückgeführt und im Kreislauf angereichert werden. Da mindestens 2 Liter Gas pro Stunde entwickelt werden, führt diese Anreicherung dazu, daß evtl. andere Anlagenteile wie bspw. die Umkehrosmoseanlage, ebenfalls irreparabel geschädigt werden können. Gleichzeitig wird Kohlendioxid angereichert, welches die Leistungsfähigkeit der Elektrodeionisationsanlage stark beeinträchtigt. Daher muß das zurückgeführte Transportmedium vor dem Einspeisen in die Gesamtanlage entgast werden, wobei der Wasserstoff, das Kohlendioxid und zum Teil der Sauerstoff entfernt werden. Die Chloridionen bleiben allerdings zurück und reichern sich an.

Diese Probleme gewinnen besonders bei der Herstellung von Rein- oder Reinstwasser für die biotechnologische oder pharmazeutische Produktion an Bedeutung, da in diesem Fall verschiedene Anforderungen, wie die Vorschriften des europäischen Arzneibuches, die USP 23, Anhang 8, Stufe 1, erfüllt sein müssen und die Anlage selbst den GMP-Anforderungen und den Ansprüchen des Inspection Guide der FDA genügen muß. Die Leitfähigkeit des Rein- oder Reinstwassers soll etwa 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ betragen, was schon durch die Anreicherung von Kohlensäure verhindert werden kann, so daß dieses Gas mit Natronlauge in Form von Natriumhydrogencarbonat gebunden werden muß.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Betrieb einer Elektrodeionisationsanlage sowie eine Elektrodeionisationsanlage der o. g. Art bereitzustellen, wobei der Abtransport des Konzentrates derart erfolgt, daß die oben beschriebenen Nachteile nicht auftreten, insbesondere die Erzeugung von Rein- oder Reinstwasser bei gleichzeitigem wirtschaftlichen Betrieb der Elektrodeionisationsanlage ermöglicht wird.

Die Lösung hinsichtlich des Verfahrens besteht darin, daß das Konzentrat in einem internen Kreislauf geführt und als Transportmedium wieder in die mindestens eine Konzentratkammer eingespeist wird. Die erfindungsgemäße Elektrodeionisationsanlage zeichnet sich dadurch aus, daß ein interner Konzentratkreislauf vorgesehen ist, welcher die Eintrittsöffnung und die Austrittsöffnung der mindestens einen Konzentratkammer miteinander verbindet, so daß das austretende Konzentrat als Transportmittel in die mindestens eine Konzentratkammer zurückgeführt wird.

Der Kern der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, daß das Transportmedium nicht in das Gesamtsystem zurückgeführt wird. Es findet keine Rückführung vor die Gesamtanlage, bspw. vor die Enthärtungsanlage statt. Stattdessen ist ein Konzentratkreislauf rund um die Elektrodeionisationsanlage vorgesehen. Das Konzentrat der Elektrodeionisationsanlage kommt somit nicht mit dem aufzubereitenden Wasser oder ggf. dem Permeat aus der Umkehrosmose in Berührung. Damit gelangt keine Resthärte, weder aus dem Trinkwasser noch aus dem Konzentrat der Umkehrosmose, in die Elektrodeionisationsanlage. Ausfällungen werden so vermieden. Es kommt auch nicht zur Anreicherung von Oxidationsstoffen wie Chloridionen, Wasserstoff, Wasserstoffperoxid und Kohlendioxid, welche die Leistungsfähigkeit der Elektrodeionisationsanlage oder evtl. anderer Anlagenteile beeinträchtigen. Dadurch werden auch die Standzeiten signifikant verlängert. Gleichzeitig weist das Konzentrat eine ausreichend hohe Leitfähigkeit auf, um das elektrische Feld wirtschaftlich, d. h. bereits bei Anlegen niedriger Spannungen, aufzubauen. Das Transportmedium muß nicht verworfen

werden, sondern wird größtenteils wiederverwendet, was die Wasserverluste auf 2% und darunter reduziert. Die Gesamtersparungen gegenüber den im Stand der Technik bekannten Anlagen können 40 bis 50% betragen.

Gleichzeitig werden die verschiedenen Anforderungen, die an Rein- oder Reinstwasser gestellt werden, erfüllt. Die Leitfähigkeit des resultierenden aufbereiteten Wassers kann bei 0,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegen.

Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen. Die Leitfähigkeit des Konzentrats sollte vor der Wiedereinspeisung in die Konzentratkammer(n) überwacht und geregelt werden, da mit jedem Durchgang des Konzentrats durch den Kreislauf die abgeschiedenen Ionen weiter aufkonzentriert werden. Die Regelung geschieht daher vorteilhafterweise derart, daß ein festgelegter oberer Grenzwert nicht überschritten wird. Dies erfolgt durch Einspeisung von Wasser mit einem niedrigeren als dem im Konzentrat gemessenen Leitwert in den Konzentratkreislauf, vorzugsweise von Permeat aus den der Elektrodeionisationsanlage vorgeschalteten Reinigungsstufen.

Eine besonders bevorzugte Weiterbildung besteht darin, daß ein konstantes Druckgefälle zwischen Diluat- und Konzentratkammern erzeugt wird. Wenn die Einspeisung des Konzentrats aus einem Vorratsbehälter mittels einer Pumpe erfolgt, kann das Druckgefälle durch Regelung der Pumpenleistung im Vorratsbehälter eingestellt werden. Um die Elektrodeionisationsanlage mechanisch möglichst gering zu belasten, sollte sie mit einem konstanten, geringen Druckgefälle betrieben werden. Bei einer internen Leckage kommt es bei Druckschwankungen innerhalb der Anlage bzw. des Gesamtanlagensystems zu einem Übertritt des Konzentrats in die Diluatkammer(n). Ein solcher Übertritt führt zur Erschöpfung der Ionenaustauscherharze und somit zu einer Funktionsstörung der Anlage. Daher wird in der oder den Diluatkammern ein höherer Druck aufrechterhalten als in der oder den Konzentratkammern. Dann kann bei einer internen Leckage kein Übertritt von Konzentrat in die Diluatkammer(n) stattfinden.

Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist ferner eine Wasseraufbereitungsanlage, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betreibbar ist oder mindestens eine erfindungsgemäße Elektrodeionisationsanlage aufweist. Eine bevorzugte Wasseraufbereitungsanlage weist eine Enthärtungsanlage und eine Anlage zur Umkehrosmose auf, welche der mindestens einen Elektrodeionisationsanlage vorgeschaltet sind, wobei das Permeat aus der Anlage zur Umkehrosmose in die mindestens eine Elektrodeionisationsanlage eingespeist wird.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Konzentratkreislaufs einer erfindungsgemäßen Elektrodeionisationsanlage;

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel einer Elektrodeionisationsanlage;

Fig. 3 ein Prinzipschema des Elektrodeionisationsverfahrens.

Die Funktionsweise der Elektrodeionisation ist aus **Fig. 3** ersichtlich. Die Ionen werden mittels des Ionenaustauscherharzes aus einem von außen zugeführten Permeat (welches meist aus dem Ablauf der Umkehrosmoseanlage stammt) entfernt und durch eine angelegte Spannung in Richtung der elektrischen Pole, d. h. Anode und Kathode, transportiert. Zwischen Anode und Kathode sind die Ionenaustauscherharze in zwei ionenselektiven Membranen eingebettet. Die beiden Membranen und die Ionenaustauscherharze bilden eine Diluatkammer. Jeweils zwei ionenselektiven Membrane ist eine Konzentratkammer benachbart, in welche die ausgetauschten Ionen abwandern. Durch Anlegen einer Spannung an Anode und Kathode entsteht ein elektrisches Feld, in welchem die Elektronen aus der Diluatkammer herauswandern, und zwar die Anionen in Richtung Anode und die Kationen in Richtung Kathode. Die Ionen wandern durch die jeweils ionenselektive Membran in die benachbarte Konzentratkammer und reichern sich dort an, da ein Rücktransport in die Diluatkammer aufgrund der Membraneigenschaften nicht möglich ist. Die Ionen werden kontinuierlich aus der Konzentratkammer abtransportiert. Das Transportmedium stammt in der Regel aus dem Konzentrat der Umkehrosmose oder ist enthartetes Wasser aus dem Trinkwassernetz.

Ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anlage **1** zur Elektrodeionisation ist in **Fig. 1** dargestellt. In das eigentliche Elektrodeionisationsmodul **2** wird Permeat, d. h. in einer vorgeschalteten, hier nicht dargestellten Enthärtungs- und Umkehrosmoseanlage vorgereinigtes Wasser mit bereits geringer Ionenkonzentration und damit geringer elektrischer Leitfähigkeit, aus einer Leitung **20** über einen Zulauf **21** zugeführt. Das in dem Modul **2** gereinigte Wasser (Diluat) gelangt über einen Ablauf **22** in eine Leitung **23**, aus der es entnommen werden kann.

Der Aufbau des an sich bekannten Moduls **2** geht aus **Fig. 2** hervor. Das Ionenaustauscherharz **200'** bzw. eine Mischung von Ionenaustauscherharzen ist zwischen zwei ionenselektiven Membranen **201** und **202** gebettet, so daß eine Diluatkammer **200** gebildet wird, die spiralförmig um eine Anode **203** gewickelt, wobei zur Erhöhung der Stabilität ein innerer Kunststoffkern **204** vorgesehen ist. Die ionenselektiven Membranen **201** und **202** begrenzen und definieren eine Konzentratkammer **205**, deren Durchmesser durch Abstandhalter (nicht dargestellt) bestimmt wird. Die Wicklung wird mit einer Kathode **206** abgeschlossen. Ein Epoxidharz umschließt als äußere Schutzschicht **207** die Wicklung samt Kathode **206**.

In die äußere Schutzschicht **207** sind der Zulauf **21** für das Permeat sowie ein weiterer Zulauf **28** für ein Transportmedium eingebettet. Der Zulauf **21** mündet in die Diluatkammer **200**, während der Zulauf **28** in die Konzentratkammer **205** mündet. Im Kunststoffkern **204** sind der Ablauf **22** für das aus der Diluatkammer **200** austretende Diluat sowie ein Ablauf **24** für das aus der Konzentratkammer **205** austretende Konzentrat vorgesehen.

Die im Permeat verbliebenen Ionen werden im Ionenaustauscherharz **200'** gegen Protonen und Hydroxylionen ausgetauscht. Die im Ionenaustauscherharz **200'** verbleibenden ausgetauschten Ionen wandern im elektrischen Feld aus der Diluatkammer **200** durch die ionenselektiven Membranen **201**, **202** hindurch und reichern sich in der Konzentratkammer **205** an. Dort werden sie mittels des Transportmediums herausgespült. Die überschüssige, nicht für den Ionentransport verwendete Energie spaltet die Wassermoleküle in Protonen und Hydroxylionen, mit welchen das oder die Ionenaustauscherharze regeneriert werden. Auf diese Weise wird eine konstante Diluatqualität erreicht. Das Modul **2** ist bspw. in der Zeitschrift Swiss Pharma, Heft 7/8 1999, Seite 25 ff. beschrieben.

Wie das Transportmedium zu- und abgeführt wird, ist wiederum aus **Fig. 1** ersichtlich. Dem Elektrodeionisationsmodul **2** ist ein Behälter **3** vorgeschaltet, der mit Konzentrat gefüllt ist. Der Ablauf **24** für das Konzentrat mündet über eine Leitung **25** in einen Zulauf **26** in den Rücklauf des Behälters **3**. Von dort gelangt das Konzentrat in eine Leitung **27**, die über eine Leitung **31** und den Zulauf **28** in die Konzentratkammer **205** des Moduls **2** mündet. Im Behälter **3** befindet sich

eine frequenzgeregelte Unterwasserpumpe 300, die druckseitig mit dem Zulauf 28 verbunden ist.

Damit die Konzentration der Ionen im Konzentrat nicht zu stark ansteigt, ist eine Überwachung des Leitfähigkeitswerts des Konzentrats vorgesehen. Zu diesem Zweck ist eine Meßeinheit 30 vorgesehen, die den Istwert für den Leitfähigkeitswert des Konzentrats in der Leitung 31 mißt. Eine Leitung 32 verbindet stromabwärts vom Meßpunkt bzw. der Meßeinheit 30 die Leitung 20 für das Permeat mit der Leitung 27 und damit mit der Leitung 31. Die Leitung 32 ist mit einem Regelventil 33 verschlossen. Wenn der Istwert über eine vorgegebene Obergrenze ansteigt, öffnet das Regelventil 33, so daß kontinuierlich eine geringe Menge Permeat (in der Regel maximal 5% des Konzentratvolumens) aus der Leitung 20 in die Leitung 27 und damit in die Leitung 31 eindosiert wird, bis der Sollwert für den von der Meßeinheit 30 gemessenen Leitfähigkeitswert wieder erreicht ist. Auf diese Weise stellt sich im Konzentrat ein konstanter Leitfähigkeitswert ein.

Am Behälter 3 ist ein Überlauf 302 vorgesehen, in welchen überschüssiges Konzentrat (bspw. im Anschluß an eine Zudosierung von Permeat zur Senkung des Leitfähigkeitswerts) in die Kanalisation abgeführt wird. Zur Entfernung der bei der Elektrodeionisation entstehenden Gase wie Wasserstoff und Kohlendioxid aus dem Behälter 3 wird dieser entgast und die Gase über die Leitung 25 in eine Entgasungsleitung 29 eingespeist, die in einen Entgasungsstutzen mündet, über welchen die Gase an die Atmosphäre abgegeben werden.

Auf diese Weise zirkuliert das Konzentrat in einem internen Konzentratkreislauf, so daß nur reines Permeat aus den vorgeschalteten Reinigungsstufen über die Leitung 20 und den Zulauf 21 in die Diluatkammer 200 des Moduls 2 gelangen kann. Das Modul 2 ist somit gegen Verschmutzungen aus dem Trinkwassernetz oder Resthärte abgesichert. Durch die Aufkonzentration des Konzentrats auf einen vorgegebenen Leitwert wird der elektrische Widerstand gesenkt, so daß das elektrische Feld wirtschaftlich, d. h. mit niedrigen Spannungen, aufrechterhalten werden kann. Das Transportmedium für die abgeschiedenen Ionen wird nicht in das Gesamtsystem, also bspw. vor die Enthärtungsanlage, zurückgeführt. Es gelangen keine für die Gesamtanlage schädlichen Stoffe, wie die bei der Elektrodeionisation entstehenden Oxidationsprodukte (u. a. Chlorid, Wasserstoffperoxid und Wasserstoff) in die Gesamtanlage. In der Gesamtanlage findet auch keine Aufkonzentration von Kohlendioxid statt, welches die Leistungsfähigkeit des Moduls 2 negativ beeinflussen würde.

Das in Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 verfügt ferner über eine Regelung, die ein konstantes Druckgefälle zwischen der Diluatkammer 200 und der Konzentratkammer 205 sicherstellt. Der hydraulische Druck in der Leitung 20 und damit der Diluatkammer 200 wird über einen Druckaufnehmer 40 aufgenommen und der Istwert in eine speicherprogrammierte Steuerung (SPS) eingelesen. Der hydraulische Druck in der Leitung 27 bzw. der Leitung 31 und damit in der Konzentratkammer 205 wird über einen Druckaufnehmer 41 aufgenommen und der Istwert in die SPS eingelesen. Über ein OP wird ein Differenzdruck, d. h. ein Druckgefälle vorgegeben. Der vorgegebene Differenzdruck wird von dem vom Druckaufnehmer 40 aufgenommenen Istwert subtrahiert. Das Ergebnis dient als Sollwertvorgabe für die Frequenzregelung der Pumpe 300 über den Pumpenmotor 301. Die Sollwertvorgabe wird mit dem vom Druckaufnehmer 41 aufgenommenen Istwert verglichen. Wenn der vom Druckaufnehmer 41 aufgenommene Istwert für den hydraulischen Druck in der Konzentrationskammer 205 zu hoch ist, wird die Frequenz der Pumpe 300 gesenkt. Ist der Druck umgekehrt zu niedrig, wird die Frequenz der Pumpe 300 erhöht.

Auf diese Weise wird ein konstantes Druckgefälle zwischen Diluatkammer 200 (höherer Druck) und Konzentratkammer 205 (niedrigerer Druck) gewährleistet. Das Modul 2 wird somit mechanisch gering belastet, und es kommt bei einer internen Leckage nicht zu einem Übertritt von Konzentrat in die Diluatkammer 200.

Die soeben beschriebene Anlage wurde gemäß Verfahrensschema CWD23-3379 gebaut und einem Testlauf von 2650 Stunden unterworfen. Die Konfiguration der Anlage entsprach der in der Zeitschrift Swiss Pharma 7/8-99, S. 31 und der Zeitschrift BioTec 1/99, S. 50 beschriebenen Konfiguration, jedoch ohne Konzentratkreislauf. Die Elektrodeionisationsanlage war ein Modul mit der Seriennummer SM 1025.017. Über den Zeitraum des Probenbetriebs wurden die folgenden prozeßrelevanten Daten aufgenommen und überwacht. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Da der Differenzdruck zwischen der Diluatkammer und dem Permeat geregelt wurde, war keine Druckdifferenz zu beobachten. Die Abweichung im Permeatdurchfluß PSA 26.1.1 von -1,8% resultiert aus Temperaturschwankungen im Rohwasser. Die Abweichung von -26% in der Zirkulationsmenge im Konzentratkreislauf ergab sich durch einen Anstieg der Druckverluste in der Konzentrationskammer des EDI-Moduls. Bei der Leitfähigkeit des Diluats war keine Abweichung festzustellen. Die Leitfähigkeit des Konzentrats beim Eintritt in das EDI-Modul wurde mittels eines Motorventils bei 145 bis 155 $\mu\text{S}/\text{cm}$ konstant gehalten. Das Strom/Spannungs-Verhältnis im EDI-Modul blieb konstant. Sowohl der Chlorgehalt (frei und gebunden) als auch der Wasserstoffperoxidgehalt im Konzentratkreislauf blieben konstant, da die Zusammensetzung des Permeats, der Leitwert im Konzentrat und das Strom/Spannungs-Verhältnis im EDI-Modul konstant gehalten wurden bzw. konstant blieben. Da die Enthärtungsanlage korrekt arbeitete, blieb auch die Resthärte im Konzentratkreislauf konstant.

Tabelle 1

Betriebsparameter	Beginn Probelauf	Ende Probelauf (2650 h)	Relevante Abweichung Beginn bis Ende (%)	
Härte Speisewasser	5°dH	5°dH		5
Leitfähigkeit Speisewasser	171 µS/cm	173 µS/cm		
Wassertemperatur Speisewasser	15°C	16°C		10
Druck vor Filter PI 21.1.3	4,3 bar	4,0 bar		
Druck nach Filter PI 21.1.4	4,2 bar	3,7 bar		
Druck nach Druckminderer PSA 21.1.1	0,5 bar	0,5 bar		15
Druck nach HD-Pumpe PI 21.1.2	13 bar	15 bar		
Druck Konzentratkammer PSA 26.1.2	2,7 bar	2,7 bar	0 %	
Druck Permeat PSA 26.1.1	3,2 bar	3,2 bar	0 %	
Druck Diluatkammer PSA 26.1.3	0,5 bar	0,5 bar	0 %	20
Rohwasserdurchfluß FI 21.1.1	700 l/h	690 l/h	- 1,6 %	
Permeatdurchfluß FISA 26.1.1	550 l/h	540 l/h	- 1,8 %	
Zirkulationsmenge Kreislauf FISA 26.1.2	155 l/h	115 l/h	- 26 %	25
Leitfähigkeit Permeat Q 21.1.1	3,8 µS/cm	4,0 µS/cm	+ 5 %	
Leitfähigkeit Diluat Q 26.1.1	0,054 µS/cm	0,054 µS/cm	0 %	
Leitfähigkeit Konzentrateintritt Q 26.1.2	145-155 µS/cm	145-155 µS/cm	0 %	30
Wassertemperatur Diluat	28°C	21°C		
Wassertemperatur Kreislauf	30°C	23°C		
Chlorgehalt "frei" Kreislauf	< 0,1 mg/l	< 0,1 mg/l	0 %	35
Chlorgehalt "gebunden" Kreislauf	< 0,5 mg/l	< 0,5 mg/l	0 %	
H2O2-Gehalt Kreislauf	2 mg/l	2 mg/l	0 %	
Resthärte Kreislauf	< 0,1°dH	< 0,1°dH	0 %	40
Betriebsstunden	1 Std.	2657 Std.		
EDI-Modul Strom/Spannung	9,7/35	9,7/36	+ 2,7 %	
EDI-Modul interne Leckage	1,7 l/h	2,1 l/h	+ 19 %	45

Die Anlage lief über die gesamte Probelaufzeit störungsfrei und stabil. Alle aufgetretenen Abweichungen sind unkritisch und nicht auf das erfindungsgemäße System mit dem Konzentratkreislauf zurückzuführen. Alle festgestellten Abweichungen treten bei herkömmlichen Systemen stärker oder gleich stark auf.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Elektrodeionisationsanlage, wobei aus einem aufzubereitenden Permeat Ionen in einem elektrischen Feld aus mindestens einer Diluatkammer in mindestens eine Konzentratkammer abgeschieden und in Form eines Konzentrates mittels eines die mindestens eine Konzentratkammer durchströmenden Transportmediums abtransportiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Konzentrat in einem internen Kreislauf geführt und als Transportmedium wieder in die mindestens eine Konzentratkammer eingespeist wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspeisung aus einem Vorratsbehälter mittels einer Pumpe erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit des Konzentrats vor der Wiedereinspeisung in die Konzentratkammer überwacht und geregelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit des Konzentrats so eingeregelt wird, daß ein festgelegter oberer Grenzwert nicht überschritten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einregelung mittels Einspeisung von Wasser mit einem niedrigeren als dem im Konzentrat gemessenen Leitfähigkeitswert erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einregelung mittels Einspeisung von Permeat erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein konstantes Druckgefälle

zwischen Diluat- und Konzentratkammer erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Druckgefälle durch Regelung der Pumpenleistung im Vorratsbehälter erfolgt.

5 9. Elektrodeionisationsanlage (1), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit mindestens einer Diluatkammer für ein aufzubereitendes Permeat, die aus mindestens einem in zwei ionenselektive Membranen eingebettete Ionenaustauschermaterial gebildet ist, mindestens einer von zwei ionenselektiven Membranen begrenzten Konzentratkammer mit einer Eintrittsöffnung und einer Austrittsöffnung für ein Transportmedium zum Abtransport der aus dem Permeat abgetrennten Ionen, dadurch gekennzeichnet, daß ein interner Konzentratkreislauf vorgesehen ist, welcher die Eintrittsöffnung und die Austrittsöffnung der mindestens einen Konzentratkammer miteinander verbindet, so daß das austretende Konzentrat als Transportmittel in die mindestens eine Konzentratkammer zurückgeführt wird.

10 10. Elektrodeionisationsanlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Konzentratkreislauf ein Vorratsbehälter für das Konzentrat vorgesehen ist.

15 11. Elektrodeionisationsanlage nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß im Vorratsbehälter eine Pumpe zur Förderung des Konzentrats vorgesehen ist.

12. Elektrodeionisationsanlage nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Konzentratkreislauf eine externe Zufuhreinrichtung für Wasser enthält.

13. Elektrodeionisationsanlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die externe Zufuhreinrichtung der Zufuhr von Permeat dient.

20 14. Wasseraufbereitungsanlage, welche mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 betreibbar ist oder mindestens eine Elektrodeionisationsanlage nach einem der Ansprüche 9 bis 13 aufweist.

15 15. Wasseraufbereitungsanlage nach Anspruch 14, in welcher einer Enthärtungsanlage und eine Anlage zur Umkehrosmose der mindestens einen Elektrodeionisationsanlage vorgeschaltet sind und das Permeat aus der Anlage zur Umkehrosmose in die mindestens eine Elektrodeionisationsanlage eingespeist wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Fig.1

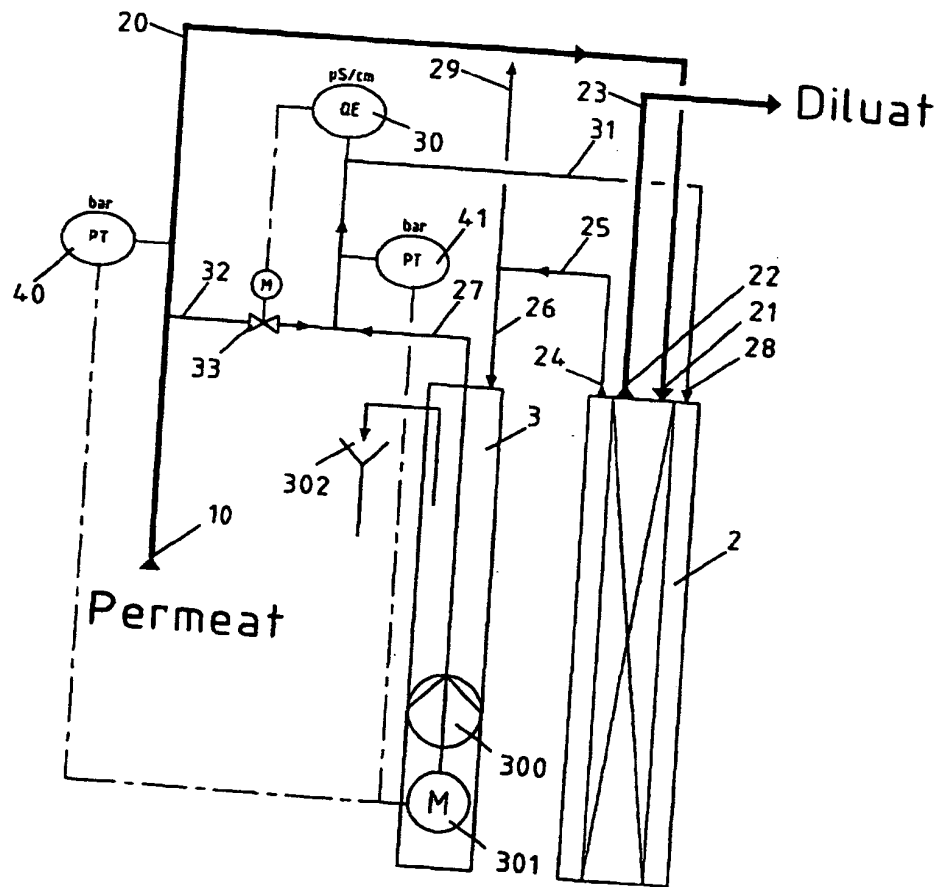


Fig.2

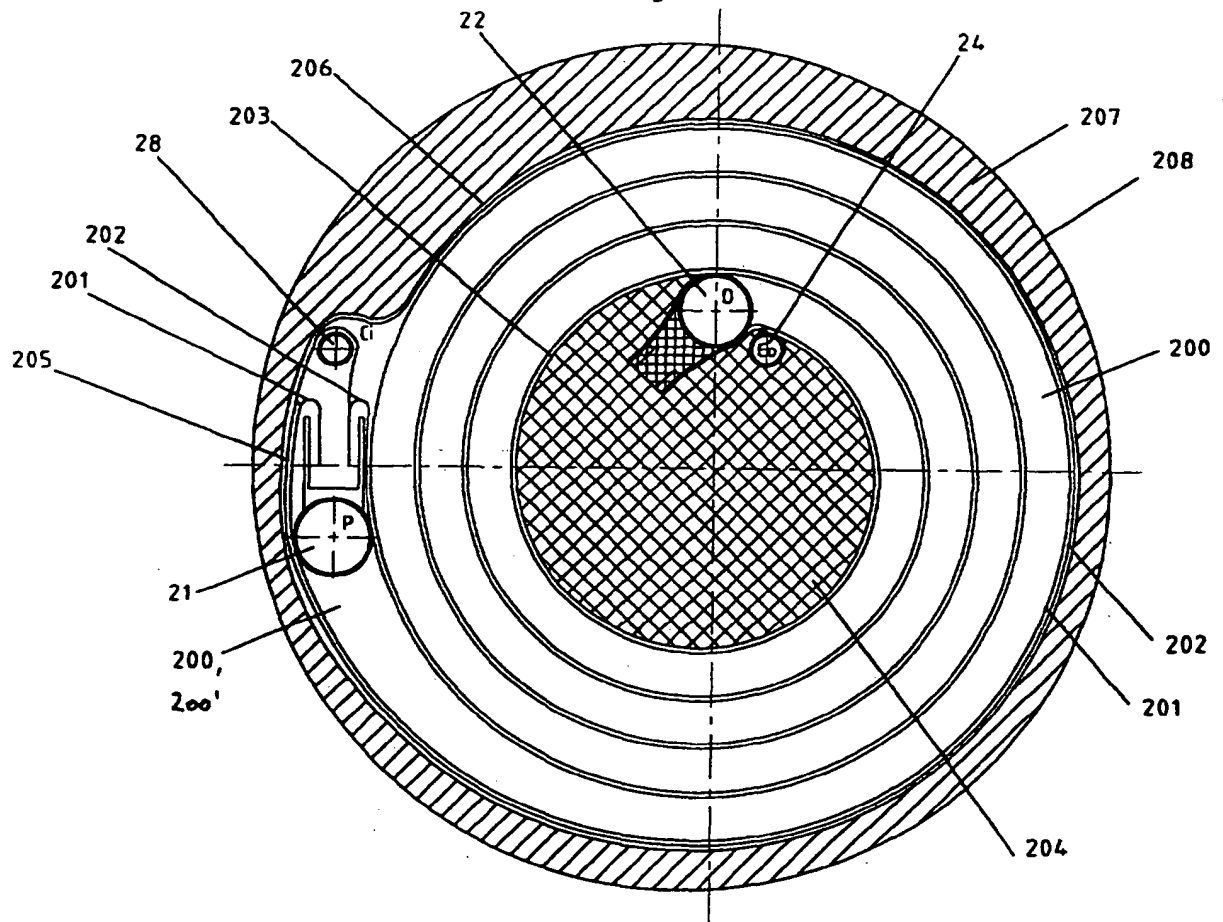
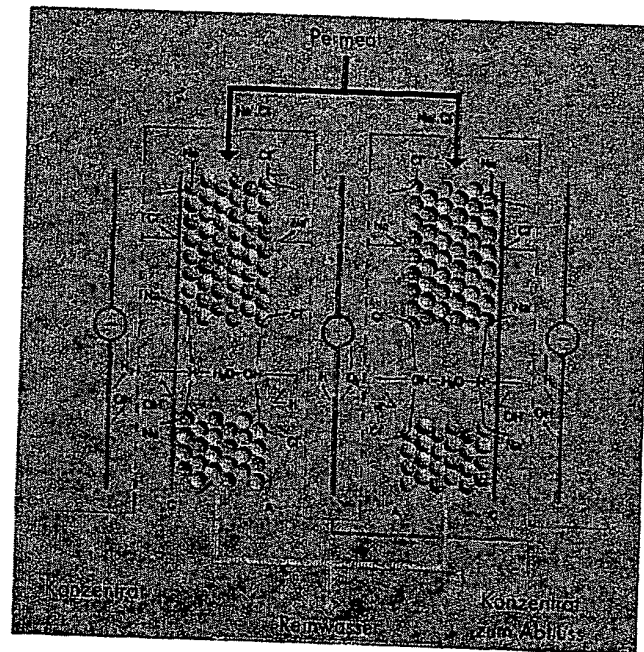


Fig. 3



BEST AVAILABLE COPY